

## トルク比一定の歯車に関する研究

著者	森田 信義
号	216
発行年	1969
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8952">http://hdl.handle.net/10097/8952</a>

氏 名 (本籍)	森 田 信 義 (徳島県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 2 1 6 号
学位授与年月日	昭和 4 5 年 3 月 2 5 日
学位 授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	トルク比一定の歯車に関する研究

(主査)

論文審査委員	教 授 酒井 高男 教 授 藤井 康治
	教 授 戸部 俊美 教 授 高梨 三郎

## 論 文 内 容 要 旨

### 緒 論

一般に歯車歯形の理論は、角速度比一定ということを第一条件にして出発している。しかし歯面間摩擦力のために、トルク比は一定とならない。そこで歯面間摩擦力の影響を考慮し、多少の角速度比の変動は許してもトルク比が一定となるような歯車を、トルク比一定の歯車と称する。

このトルク比一定の歯車は、これを機械時計用歯車として用いた場合に、その効力を最も発揮する。なぜなら、機械時計用歯車は、テンプに一定周期の振動を生じさせるために、何よりもまずガソギ車の軸に、なるべく一定な回転トルクを与える必要があるからである。

ところが現在機械時計に用いられている歯車は、歯末が円弧、歯元が直線であるいわゆる円弧歯形歯車であり、角速度比、トルク比共に一定でない。しかしこれは、機械時計用歯車としての必要な機能、すなわち、伝達トルク比ができるだけ一定であること、高効率であること、中心距離の

変化に不感であること，大きな頂隙，背隙をもつこと，設計製作が比較的簡単であること，などを兼ね備えたかなり有用な歯車である。

けれども円弧歯形歯車にとらわれている限り，機械時計用歯車の性能の向上には限りがある。そこで何か新しい歯形をもった歯車で，さらにいっそう性能の良い歯車が存在しはしまいかということが，本研究における動機である。すなわち，上記機械時計用歯車の必要な機能の中で，伝達トルク比ができるだけ一定であるということを第一の目的にしたものが，トルク比の一定の歯車である。

現在までのトルク比一定の歯車に関する理論的研究は，正確にかみ合い，かつできるだけなめらかに回転するという歯車の本来の目的に関して，まだ不十分なものである。また実験的研究は，ほとんど行なわれていない。

そこで筆者は，今までの研究の不十分な点を埋めつつさらにそれを発展させ，最終的にはトルク比一定の歯車を機械時計に応用する目的をもって，本研究を行なった。

## 第 I 編 歯 形 論

### 第 1 章 歯車の伝達トルクの変動

歯車の伝達トルクは種々の原因で変動するが，ここでは伝達トルクの変動は，歯面間摩擦力のみによって生ずるものであると仮定した。

つぎに歯面間摩擦係数の値を知るため，モデル装置作成と測定を行ない，無濡滑，スベリ速度  $0.05 \text{ mm/s}$  から  $0.20 \text{ mm/s}$ ，垂直荷重  $70 \text{ g}$  から  $350 \text{ g}$ ，という測定条件の下で，鋼—黄銅については  $0.15 \sim 0.25$ ，黄銅—黄銅については  $0.15 \sim 0.21$  の値を得た。

### 第 2 章 トルク比一定の歯車の歯形論

トルク比一定の歯車とは，歯面法線力と歯面間摩擦力の合力が，歯車の中心線を切る点， $Q$  を定点とするような歯車である。このことを踏まえた上で筆者は，トルク比一定の歯車の接触点の軌跡は，以下の三条件を満足していなければならないということを明らかにした。

- i) 近寄側，遠退側の両側に存在しなければならない。
- ii) 定点  $Q$  で，その接線が摩擦角の二倍の角度を持つように，折れ曲っていないなければならない。
- iii) その法線は，歯車中心線分の内側を通らなければならない。

この接触点の軌跡を仲介として歯車歯形を導くために，筆者は今までの研究に用いられてきた接線座標に代り，接線極座標を用いて，以下に示すカミアイ方程式を立てた。

$$L_1 \cos \theta_{ij} = P_1 \pm r \cos r \quad (1)$$

$$L_1 \sin \theta_{ij} = \frac{dP_1}{d\sigma_1} + r \tan r \quad (2)$$

$$L_2 \cos \theta_{ij} = P_2 \mp r \cos r \quad (3)$$

$$L_2 \sin \theta_{ij} = \frac{dP_2}{d\sigma_2} - r \sin r \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \theta_i &= \theta_{ij} + r \\ \theta_j &= \theta_{ij} - r \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし添字  $i$  は近寄側,  $j$  は遠退側を表わす。

つぎにこのカミアイ方程式を基礎にして, 種々の接触点の軌跡を与えた場合, および一方の歯車の歯形を与えた場合の, トルク比一定の歯車の歯形を導いた。一例として, 被動歯車の歯形がインボリュートである場合 (略号  $I_F$ ) の歯形の式を示す。

○ 被動歯車の歯形  $P_2 = Lg_2 \cdot \sigma_2 + L_2 \sin \alpha \quad (6)$

○ 接触点の軌跡  $r = \frac{L_2}{\sin r} (\cos \alpha - \sin \theta_{ij}) \quad (7)$

○ 駆動歯車の歯形

$$P_1 = L_1 \cos \theta_{ij} \pm L_2 (\sin \theta_{ij} - \cos \alpha) \cot r \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\pm L_2}{\mu(L_1 + L_2)} \log |Lg_2 - (L_1 + L_2) \sin \theta_{ij}| - \frac{L_1 \theta_{ij}}{L_1 + L_2} \\ &+ \frac{L_1 Lg_2}{(L_1 + L_2) \sqrt{(L_1 + L_2)^2 - Lg_2^2}} \log \left| \frac{Lg_2 \cdot \tan \frac{\theta_{ij}}{2} - (L_1 + L_2) - \sqrt{(L_1 + L_2)^2 - Lg_2^2}}{Lg_2 \cdot \tan \frac{\theta_{ij}}{2} - (L_1 + L_2) + \sqrt{(L_1 + L_2)^2 - Lg_2^2}} \right| \\ &+ K'_{ij} \end{aligned} \quad (9)$$

### 第3章 トルク比一定の歯車を創成するラックの歯形

本章では前章において求めた歯形をもつ歯車を, 実際に設計製作するために必要な, ラック型カッタの歯形を求める式を, カミアイ方程式よりラックの歯形を求める方法, および包絡線法により導いた。

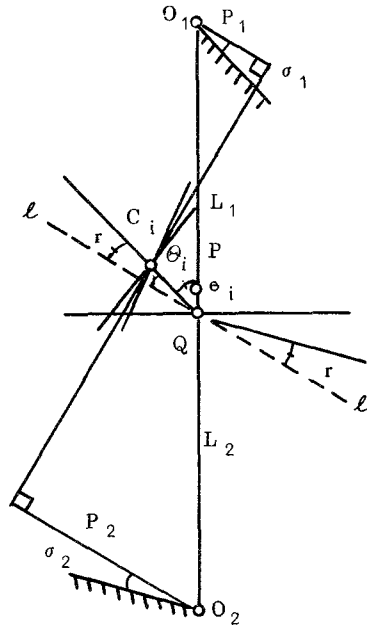


図 1, 近寄側のカミアイ

## 第4章 トルク比測定実験

第2章で求めた理論式を用い、種々の歯形の数値計算を行なった結果、接触点の軌跡が直線である場合(略号  $L_s$ ) と前記  $I_F$  の二種の歯形が 実用上有効であろうとの結論を得た。つぎにそれらのモデルを作成して、トルク比測定実験を行なった。その結果、筆者の歯形理論が正しいことが裏付けられた。

## 第Ⅱ編 歯 車 論

### 第5章 トルク比一定の歯車の特異性

トルク比一定の歯車において、歯形論を歯車論に拡張する際には、つぎのような特異性に遭遇する。すなわち、瞬間中心であるピッチ点  $P$  は定点  $Q$  より常に駆動歯車側に存在し、カミアイの最中に刻々とその位置を変えるため、角速度比が次々と変化する。これは正解にかみあい、かつなめらかに回転するという、歯車の本来の目的と対立するものである。そこで筆者は、これら不都合な点を解消するために、つぎに示す三つの問題点を提唱した。

- i) 歯車が正確にかみあうためには、歯車中心距離を歯数比で内分する点より、被動歯車側に定点  $Q$  を位置づけなければならない。すなわち点  $Q$  の位置は如何?
- ii) 歯車がなめらかに回転するためには、カミアイの始点と終点の角速度比が同じでなければならない。そのための条件は如何?
- iii) 一歯に要求される所定の回転角を、十分一歯に受持たせることができるような傾斜角の値は如何?

以下の第6章、第7章では、 $L_s$ 、 $I_F$  の二種の歯形について、これらの問題点を解決した。

### 第6章 接触点の軌跡が直線である場合の歯車論(略)

### 第7章 被動歯車の歯形がインボリュートである場合の歯車論

#### ○問題点 ii) の解

媒介変数  $\theta_{ij}$  の値を同じにすればよい。被動歯車歯数を  $Z_2$  カミアイの始点と終点における  $\theta_{ij}$  の値を  $\theta'_{ij}$  とすれば、

$$\sin \theta'_{ij} = (1-S) \cos \alpha, \quad S = \frac{\mu \pi}{Z_n} \quad (10)$$

#### ○問題点 iii) の解

傾斜角  $\alpha$  は、次式に示す限界値より大きな値をとらねばならない。

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{1}{\sqrt{(1-S)^2 + \left(\frac{S}{\mu}\right)^2}} \right] \quad (11)$$

。問題点 i ) の解

駆動歯車中心より定点 Q までの距離を

$\eta$  , 増速比を  $\varepsilon$  とすれば ,

$$e^{S(\eta+1/\varepsilon)} = \frac{\eta}{\eta(1-S) - S/\varepsilon}$$

つぎに ,  $L_s, I_F$  の二種の歯形について数値計算を行ない , それらの歯車性能を調べた結果 ,  $I_F$  歯車の方が実用に適しているとの結論を得た。

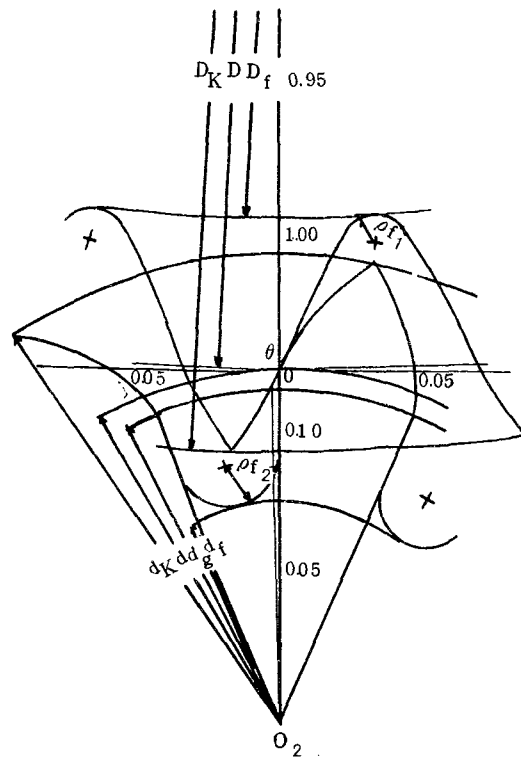


図 2  $I_F$  歯車 ( $\mu=0.2, \alpha=20^\circ$   
 $Z_2=8, \varepsilon=8$ )

## 第 III 編 機械時計に対する応用

### 第 8 章 歯車の中心距離誤差による歯車性能の変化

$I_F$  歯車の応用をねらいとしている腕時計においては , 一般に  $\pm 10 \mu \sim \pm 20 \mu$  程度の中心距離誤差が見込まれている。そこで  $I_F$  歯車が従来の時計用円弧歯形歯車に比べ , 中心距離誤差による歯車性能の変化が少なければ , さらに実用に好適であろうとの考えから , これらの歯車性能の比較検討を行なった。その結果 ,  $I_F$  歯車において , 問題点 i ) と問題点 ii ) の解は中心距離誤差の影響を全く受けないということがわかった。さらに中心距離誤差によるトルク比の変化と効率の減少割合は , 円弧歯形歯車に比べ非常に少ないということがわかった。これらのことから ,  $I_F$  歯車の性能は円弧歯形歯車のそれに比べ , 明らかに優れているとの結論を得た。

## 第9章 機械時計に対する応用

前章で性能を調べた  $I_F$  歯車を実際に設計製作し、市販時計用歯車と共にそのトルク変動率測定実験を行なった。その結果、 $I_F$  歯車は市販時計用歯車に比べ、変動率が約40%少なくなり、変動率値のバラッキ具合も少なくなったため、非常に良好な歯車であるとの結論を得た。

### 結 論

本論においては、まず歯形論として、種々のトルク比一定の歯車歯形について論じ、つぎにそれらの内で、実用上有効であると考えられる  $L_S$ 、 $I_F$  の二種の歯形について、歯車論を論じた。その結果、 $I_F$  歯車が最も実用に適しているとの結論を得た。そこでその歯車性能を、種々の現用の機械時計歯車の性能と比較検討し、理論的に性能向上を確かめた。さらに  $I_F$  歯車の試作品を作成し、それを実際に機械時計に組み込み、トルク変動率測定実験を行なった結果、 $I_F$  歯車の優秀性が確認され、実用化の見通しがついた。

おわりに、本研究を終始御指導下さり、多くの暖かい助言を与えて下さった酒井 高男教授に、心からお礼を申し上げる。また実験装置作成に御協力いただいた鈴木 正俊、長内 譲悦両技官と、試作品の製作および測定実験に当り、数々の御便宜をはかっていただいた第二精工舎酒見肇一郎氏に深く感謝する。

## 審 査 結 果 の 要 旨

機械時計用歯車の研究は、ぜんまいに蓄えられた動力を、なるべく少ないトルク変動でガンギ車に伝達し、また途中における摩擦損失をできるだけ少なくすることにより、同じぜんまい巻き数に対して、なるべく長時間時計が働くようにするところに、主な目的がある。

本論文は、この目的のうち、トルクの一様伝達を目的とした歯車につき、歯形曲線を理論と実験によって吟味し、これを基にして歯車論に進み、最後にこれらの成果を実際の時計に応用した場合の性能について論じたもので、3編9章より成る。

第I編は歯形論である。

第1章では、ふつうの平歯車において歯面間に作用する摩擦力が、トルク比にどのような変動を与えるかにつき、理論と実験の両面から検討し、また第2章以下において必要となる歯面間の摩擦係数の推定を行なっている。

第2章は、トルク比一定の歯車の歯形論について述べたものである。まず接線極座標によりトルク比一定の歯車のかみあい方程式を導き、これにより、いろいろな場合の歯形曲線を求めている。

第3章は、トルク比一定の歯車を創成するためのラックの歯形について述べたものである。

第4章は、上述の理論によって製作された歯形のモデルによるトルク比測定実験について述べたものである。これにより理論の裏付けをするとともに、実用に適する歯形の検討も行なっている。

第II編は歯車論である。

第5章は、トルク比一定の歯車の特異性について、一般論の立場から述べている。

第6章は、接触点の軌跡が直線である場合

第7章は、被動歯車の歯形がインボリュートである場合の歯車論を扱っている。これらは、第I編において、実用に適するものとして選択された歯車である。ともに一对の歯からつぎの一对の歯への接続条件、傾斜角の限界、トルク円半径の決定法が論ぜられている。

第III編は機械時計に対する応用である。

第8章は、歯車の中心距離誤差による歯車性能の変化を、現用のいろいろな時計用歯車との比較において述べたもので、トルク比一定の歯車の優位性を論じている。

第9章は、機械時計に対する応用について述べたもので、試作品の実験結果は、本研究が、実際のにも十分有用であることを実証している。

以上要するに、本論文は、機械時計用歯車を目的としたトルク比一定の歯車について、理論と実際の両面から論じたもので、精密工学上寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。